

A Importância da Tribologia para a Manutenibilidade no Projecto de Novos Equipamentos

L. A. Ferreira
lferreir@fe.up.pt

*Departamento de Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Faculdade de Engenharia,
Universidade do Porto, Portugal*

Resumo

A dimensão e a complexidade dos sistemas e equipamentos actuais obriga a um projecto e uma manutenção destes mais cuidadoso, já que uma avaria para além de poder causar prejuízos elevados pelas perdas de funcionalidade desses sistemas, pode levar a perdas importantes de segurança operacional, hoje inadmissíveis na sociedade em que vivemos. Na maioria dos sistemas com equipamentos dinâmicos, uma percentagem elevada das perdas de funcionalidade é causada pelo mau funcionamento de mecanismos tribológicos. Assim, torna-se necessário controlar esses mecanismos para evitar as consequências nefastas das avarias e, conhecendo melhor esses mecanismos tribológicos, torna-se possível melhorar o projecto dos equipamentos e a sua fiabilidade. Por outro lado, exige-se que esses equipamentos sejam mais fáceis de manter, isto é, que sejam mais fáceis de controlar, para uma prática correcta da manutenção preventiva condicionada, quando são intervencionados por manutenção preventiva sistemática ou quando avariaram por intervenção da manutenção curativa. Exigem-se um número cada vez menor de intervenções nos equipamentos e que, quando é necessário fazer essas intervenções, os tempos de paragem sejam o mais curtos possível.

Assim sendo, os componentes tribológicos estão sujeitos a condições de serviço (carga, velocidade relativa,...) cada vez mais exigentes. Logo, as falhas mecânicas, especialmente as de origem tribológica, como o desgaste ou a fadiga superficial, são hoje uma das principais causas das avarias em equipamentos ou sistemas, com a sua perda de disponibilidade e perda de segurança operacional.

1. Introdução

Teoricamente, todo o processo de projecto de um equipamento ou sistema deveria ser perfeito, não devendo haver necessidade de realização de testes para averiguar se os objectivos são atingidos. Mas, como é bem sabido, as ferramentas analíticas, os modelos desenvolvidos e as decisões tomadas pelos engenheiros não são perfeitas. Logo torna-se necessário realizar revisões de projecto e testes de desenvolvimento e de simulação de operação (quando necessário) para descobrir as possíveis falhas e, deste modo, ultrapassar as deficiências do nosso conhecimento.

Assim sendo, também sabemos que os investimentos em desenvolvimento de novos sistemas ou produtos são reduzidos e que os prazos de desenvolvimento são cada vez mais curtos, o que leva a tempos de teste necessariamente menores. Por outro lado, a redução de custos obriga a uma cada vez maior utilização de itens normalizados, não sendo o seu projecto e fabrico desenvolvidos e controlados pelo construtor dos sistema.

Para conseguir evoluir nesta conjuntura cada vez mais complexa, torna-se necessário que o projecto inicial dos sistemas e equipamentos seja o mais eficaz possível, tendo sempre como objectivos primordiais a disponibilidade dos equipamentos, a segurança operacional e ambiental, tendo em vista que estes objectivos devem ser obtidos considerando o “LCC – Life Cycle Cost” ou Custo do Ciclo de Vida pretendido.

A análise LCC é realizada no momento da selecção de novos equipamentos quando estes são adquiridos ou pode ser utilizada pelos projectistas durante a procura de soluções optimizadas para o projecto em curso. A sua avaliação ao longo do tempo irá permitir verificar se essas soluções foram as mais razoáveis ou não.

Os sistemas actuais são cada vez mais complexos e apresentam riscos mais elevados caso aconteça uma disfunção dos mesmos. Em todos estes sistemas complexos existem componentes em contacto com movimento relativo, ou sejam, componentes tribológicos. Componentes estes sujeitos a condições de serviço (carga, velocidade relativa,...) cada vez mais exigentes. Assim sendo, as falhas mecânicas,

especialmente as de origem tribológica, como o desgaste ou a fadiga superficial, são hoje uma das principais causas das avarias em equipamentos ou sistemas, com a sua perda de disponibilidade e perda de segurança operacional.

2. LCC – Metodologia de análise

Para avaliar a importância da tribologia para os novos projectos de novos equipamentos e para a sua manutenção durante o seu período operacional, o melhor método é fazer uma análise de custos utilizando o conceito de “LCC – Life Cycle Cost” ou Custo do Ciclo de Vida do equipamento.

O LCC inclui todos os custos que sejam considerados como possíveis. Cada caso de estudo deve ser analisado, tendo em vista as suas particularidades.

Uma fórmula utilizada para o cálculo do LCC é a seguinte [1]:

$$LCC = C_{VA} + C_{IN} + C_E + C_O + C_M + C_{PP} + C_{AMB} + C_D \quad (1)$$

C_{VA} representa os custos de “aquisição” do equipamento e nele estão incluídos:

- Custos de engenharia para definição do equipamento a “comprar”
- Realização do caderno de encargos
- Custos administrativos da compra
- Custo das peças sobresselentes e ferramentas a adquirir
- Treino dos operadores e da manutenção
- Aquisição de equipamento auxiliar e de controlo da operação
- Controlo e inspecção do equipamento a adquirir

C_{IN} representa o custo de instalação do equipamento e o seu comissionamento, nomeadamente:

- Custo da preparação das instalações físicas (projecto, fundações, ligação à rede eléctrica, ventilação,...)
- Custo da montagem do equipamento propriamente dito (mão-de-obra, controlo da instalação,...)
- Análise e verificação do desempenho na fase de arranque

C_E é o custo da energia que o equipamento vai gastar. Deve-se ter em conta que muitos equipamentos a trabalhar em modo degradado, mas ainda cumprindo a sua funcionalidade, tendem a consumir mais energia que equipamentos em boas condições. Por outro lado, existem custos específicos de energia, nomeadamente na fase de arranque das instalações.

C_O representa os custos de operação de um equipamento:

- Custos de mão-de-obra
- Custos de controlo da operação
- Custos de instalação física (edifícios, instalações auxiliares)
- Custos administrativos

C_M representa os custos de manutenção:

- Custos directos de manutenção correctiva
- Custos de manutenção preventiva: acções de manutenção efectuadas e sistemas de controlo de condição
- Custos administrativos do serviço de manutenção
- Custos das ferramentas de manutenção
- Custo de compra e armazenagem de sobresselentes

C_{PP} são custos relativos à perda de produção e podem ser:

- Custos de amortização de equipamento produtivo parado
- Custos de mão-de-obra de produção parada
- Custos de prazos não conseguidos
- Custos de matéria prima em curso de transformação degradada

C_{AMB} representa os custos ambientais devidos ao funcionamento do equipamento, quer em funcionamento normal (tratamento de gases ou efluentes, ruído,...), quer os incorridos devido a possíveis avarias do sistema.

C_D representa os custos de descomissionamento e desmantelamento de um sistema, incluindo os custos ambientais.

Como se pode observar nesta análise de custos, os custos de manutenção dos equipamentos assumem uma parcela importante do LCC. Os custos de manutenção podem ser mais ou menos importantes por duas

razões, que podem ser sobreponíveis: maior ou menor fiabilidade do equipamento que origina um número importante de falhas; paragens mais ou menos longas dos equipamentos devido a dificuldades de intervenção da manutenção.

3. Aspectos económicos da manutenção

Vários estudos têm sido feitos para analisar o impacto económico da manutenção [por ex: 2, 3, 4] apontam para custos da manutenção que podem representar entre os 1,5 e os 5% do volume de vendas para empresas de manufactura, podendo este valor atingir os 30% para empresas de capital intensivo, como a indústria mineira.

Embora não existam números específicos para o impacto da tribologia na manutenção, pode-se no entanto ter em conta o Relatório Jost, realizado em 1966 no Reino Unido, como é do conhecimento geral. Nesse relatório são citados diferentes itens que, caso os conhecimentos tribológicos conhecidos à época fossem aplicados, poderiam levar a uma poupança importante para a indústria. Entre os itens citados com maior relevância aparecem os custos relativos à manutenção e substituição de componentes, os custos devidos às consequências das falhas, os custos de investimentos devido a uma menor utilização e menor eficiência mecânica dos equipamentos e custos de investimentos devido à menor durabilidade desses equipamentos.

4. Projecto tendo em vista a manutenibilidade

A manutenibilidade de um sistema é um factor decisivo para manter a sua fiabilidade do longo do ciclo de vida funcional. Pode ser definido como sendo a probabilidade de um item ser mantido nas condições previstas de tempo e custo, tendo sido asseguradas as condições logísticas, tidas como necessárias.

A noção de que a manutenibilidade deve ser considerada desde a fase inicial do projecto reside no facto de que os custos da manutenção e outros associados aumentarão ao longo do desenvolvimento do projecto, à medida que a sua flexibilização vai diminuindo, como se pode ver na Figura 1.

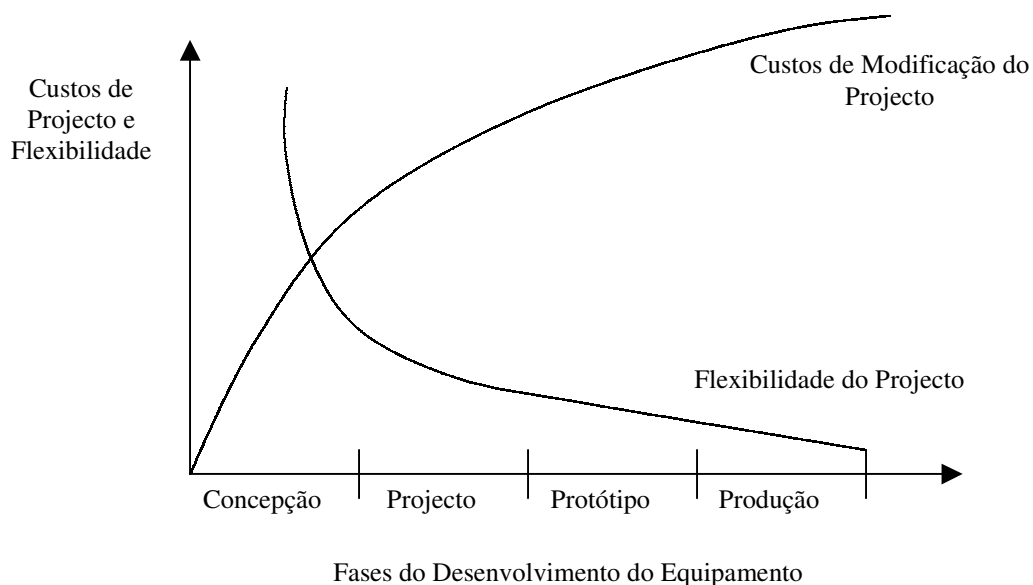


Figura 1: Fases do projecto v.s. custo do produto/flexibilidade

Pode-se ver assim que se não se tiver em conta a manutenibilidade na fase de projecto ou na análise de compra de um equipamento, o LCC tornar-se-à necessariamente mais desfavorável. Tal implica que o custo dos produtos fabricados será mais elevado. Sendo o valor de mercado desses produtos estabelecido pelo próprio mercado, tal significa perdas de margem de lucro ou, no pior dos casos, prejuízos para as empresas.

A análise da manutenibilidade de um sistema ou equipamento tem que ser feita no âmbito da avaliação global do projecto de aquisição e implementação do mesmo, já que não pode ser dissociada da sua fiabilidade intrínseca e operacional e de todos os outros parâmetros de aquisição, como sejam garantias e assistência técnica do fornecedor do equipamento e dos diferentes fornecedores dos diferentes sub-sistemas ou componentes.

Em casos limites, a manutenibilidade de um sistema ou equipamento pode ser objecto de ensaios, quando tal se torna importante e realizável. Por outro lado, havendo vários intervenientes na implementação dos sistemas, torna-se necessário verificar que a intervenção de uns não colide com as necessidades de outros. Por exemplo, um equipamento electro-mecânico pode ter uma boa manutenibilidade intrínseca, mas o local onde foi implementado pode dificultar ou impedir o acesso a esse equipamento.

No Quadro 1 faz-se a listagem não exaustiva das características típicas de um projecto tendo em vista a manutenibilidade.

Projecto tendo em vista a Manutenibilidade	<i>Benefícios obtidos</i>
Fácil acesso aos componentes	<ul style="list-style-type: none"> ○ Redução de tempo e custos de manutenção ○ Aumento da disponibilidade do equipamento ○ Fadiga dos agentes reduzida, maior segurança na intervenção
Sem ajustes ou ajustes mínimos	<ul style="list-style-type: none"> ○ Redução do tempo e custos de manutenção ○ Aumento da disponibilidade do equipamento ○ Menor formação do pessoal
Componentes e módulos fácil e/ou rapidamente substituíveis	<ul style="list-style-type: none"> ○ Fadiga dos agentes reduzida, maior segurança na intervenção ○ Aumento da disponibilidade do equipamento ○ Identificação mais fácil dos problemas
Evitar erros; módulos ou componentes só com uma possibilidade de montagem	<ul style="list-style-type: none"> ○ Probabilidade de avariar o componente diminui ○ Fiabilidade aumenta ○ Menor formação do pessoal
Auto-diagnóstico ou indicadores para encontrar avarias rapidamente	<ul style="list-style-type: none"> ○ Redução do tempo e custos de manutenção ○ Aumento da disponibilidade do equipamento ○ Aumento da satisfação do cliente
Inexistência ou nº mínimo de ferramentas especiais	<ul style="list-style-type: none"> ○ Investimento em manutenção reduzido ○ Aumento da satisfação dos clientes ○ Nº de ferramentas de manutenção reduzidas
Componentes de “catálogo”	<ul style="list-style-type: none"> ○ Stocks de sobresselentes reduzido ○ Custo do equipamento reduzido ○ Redução do tempo e custo de manutenção
Reduzir o nº de componentes ao mínimo indispensável	<ul style="list-style-type: none"> ○ Custo do equipamento reduzido ○ Aumento da fiabilidade ○ Stock de sobresselentes reduzido
Conhecimento do modo físico da avaria	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diagnóstico mais fácil ○ Monitorização possível do equipamento ○ Planeamento e preparação da manutenção

Quadro 1: Características para o projecto tendo em vista a manutenibilidade e benefícios (listagem não exaustiva)

Uma avaliação correcta da manutenibilidade permite, também, traçar políticas e estratégias de manutenção que melhor se adaptem aos equipamentos em causa. A aplicação de estratégias de manutenção como o RCM (“Reliability Centered Maintenance”) é extremamente facilitada, se existir um conhecimento prévio das metodologias de manutenção estudadas para cada equipamento, reduzindo ao mínimo as intervenções da engenharia durante a fase de operação, que são sempre muito onerosas.

5. Notas sobre o estado actual do desenvolvimento da tribologia

Um dos principais factores que afirmaram a tribologia como ciência foi a tomada de consciência das elevadas despesas provocadas por uma má aplicação tribológica. Aqui inclui-se não só uma má lubrificação e manutenção, mas também um mau projecto inicial das máquinas, citados no já referido Relatório Jost.

Assim, a tribologia tem uma importância fundamental não só no projecto de máquinas e equipamentos, mas também é essencial na sua manutenção. Controlar o atrito, geralmente para diminuir os esforços, e diminuir os desgastes, sempre foram preocupações de humanidade. Apesar disso, só recentemente as superfícies se transformaram de forma evidente no principal limite tecnológico das peças mecânicas, o que levou ao necessário desenvolvimento da tribologia nas últimas décadas.

Actualmente, os estudos em tribologia dividem-se em diferentes áreas: análise dos estados de superfície (rugosidades), mecanismos não lubrificados, mecanismos lubrificados de baixa pressão e mecanismos lubrificados de alta pressão. Todos estes sectores englobam o projecto de componentes mecânicos, qualidade requerida para o seu fabrico (com atenção para uma criteriosa selecção de materiais) e posterior manutenção e análise de avarias das superfícies.

No que respeita à análise das superfícies, a definição criteriosa das rugosidades é da mais vital importância, já que dela depende em boa medida a fiabilidade dos mecanismos tribológicos. Actualmente, embora já se tenham encontrado critérios que permitem definir com a qualidade requerida as rugosidades das superfícies, continuam a desenvolver-se estudos para se saber qual é a qualidade superficial técnica e economicamente recomendável para uma superfície de modo a que esta tenha em funcionamento a fiabilidade exigida [5].

Os mecanismos não lubrificados, tais como mancais de apoio de veios, são utilizados sempre que não é possível utilizar lubrificantes (por ex: ambientes com elevados teores de humidade ou altas temperaturas) ou se procuram soluções de baixo custo. Assim sendo, o atrito nas superfícies é sempre relativamente elevado, o que implica temperaturas de contacto e taxas de desgaste também elevadas. Tentar controlar o atrito e os mecanismos de desgaste tem sido a missão permanente dos investigadores. Tal tem sido feito com a pesquisa de novos materiais de superfície do tipo compósito ou polimérico, sendo os resultados obtidos muito promissores e com aplicações industriais evidentes.

Os mancais lubrificados de baixa pressão, hidrodinâmicos ou hidrostáticos, atingiram hoje uma fase de desenvolvimento estável, com uma utilização intensiva da mecânica computacional para o cálculo das condições de funcionamento. A investigação actual dirige-se para uma maior longevidade destes mecanismos, com a utilização de lubrificantes mais modernos e com uma selecção mais cuidada dos materiais e das rugosidades das superfícies. Tenta-se também trabalhar com espessuras de filme mais baixas, para diminuir o atrito interno, assim como aproveitar o aumento de capacidade carga, fazendo operar as chumaceiras no regime turbulento. Neste caso, tenta-se otimizar o aumento da capacidade de carga com o aumento do atrito provocado pela existência de turbulência.

Os mecanismos lubrificados de alta pressão tais como engrenagens e chumaceiras de rolamentos têm tido uma evolução extraordinária nos últimos anos devido ao recurso da mecânica computacional. É possível nos nossos dias calcular com precisão as películas de filme lubrificante nestes mecanismos, a partir do conhecimento das condições cinemáticas, dos materiais das superfícies e da reologia do lubrificante. Continuam a ser desenvolvidos novos lubrificantes e novos meios de cálculo que permitem melhorar o comportamento deste tipo de mecanismos. Do mesmo modo, têm sido estudados novos materiais de volume e de superfície, que permitem melhorar o seu desempenho. Também para estes mecanismos existe a preocupação de baixar os atritos, trabalhando em regimes de lubrificação mista ou limite, em que a conjugação das propriedades das superfícies com as propriedades dos lubrificantes é essencial, para que as taxas de desgaste dos mecanismos se mantenham a um nível aceitável [6].

6. Tribologia, manutenibilidade e manutenção

Ainda não se pode falar de campo científico de tribologia de manutenção. Mas é um facto que os mecanismos de falha de componentes tribológicos representam hoje cerca de 70% de todas as avarias recenseadas na indústria.

Para se chegar a esta conclusão utilizam-se as metodologias de análise de manutenção, que permitem não só avaliar os modos de falha dos componentes, mas também verificar quais as suas origens e as suas consequências para os equipamentos. Tal é feito, tendo em atenção a criticidade dos componentes ou sistemas para o processo produtivo. Existem diferentes métodos para a análise da criticidade dos componentes:

1. FMECA ("Failure mode, effects and criticality analysis"). São verificados os modos de falha possíveis para cada componente e as suas consequências são analisadas por uma análise de causas e efeitos. A criticidade do componente é então avaliada.

2. FTA ('Fault tree analysis'). Nesta análise constrói-se uma árvore lógica de níveis de acontecimentos que podem levar a um modo de falha dum sistema ou componente. Dá origem a uma estrutura de propagação das falhas e a uma análise preditiva probabilística da existência de um modo de falha crítico a partir da probabilidade de falha dos componentes.
3. ETA ('Event tree analysis'). A árvore de falhas é criada a partir dos acontecimentos base ou falhas dos componentes até chegar ao modo de falha crítico a partir de uma análise probabilística de sucesso ou falha de acontecimentos intermédios.

Outros desenvolvimentos científicos importantes têm a ver com o conhecimento do desenvolvimento dos modos físicos de falha dos componentes. A fadiga superficial, a corrosão, o desgaste e outros modos de degradação das superfícies são avarias típicas dos componentes mecânicos. A previsão das falhas desses mecanismos nas condições reais de operação é objecto de estudo dos modos físicos das falhas. O seu conhecimento é essencial para se perceber como é que determinado modo de falha se pode desenvolver ou não em determinado contexto operacional.

Esse conhecimento pode levar à melhoria dos projectos, se é pretendido aumentar a fiabilidade dos sistemas e/ou introduzir modificações na fase de projecto que permitam melhorar a manutenibilidade desses componentes, através de um melhor acesso ou monitorização.

O problema actual em tribologia é que a reprodução dos fenómenos de desgaste em laboratório é complexa e a sua extrapolação praticamente impossível. A modelização dos fenómenos tribológicos é, por isso, muito difícil. Se é possível modelisar os esforços a que as superfícies são submetidas e calcular com precisão espessuras de filme lubrificante, já se torna quase impossível modelisar o atrito seco e consequente desgaste, muito dependentes das condições operacionais. Esta dificuldade tem sido muito discutida pela comunidade científica [7,8].

Para obter informação sobre o desempenho dos mecanismos tribológicos em operação têm sido desenvolvidas e aplicadas metodologias de controlo de condição, como sejam a análise vibratória, a ferrografia e a análise térmica. Com a utilização destas ferramentas é possível controlar o desempenho dos componentes, por exemplo o seu desgaste. Para além disso, permitem perceber melhor as causas das avarias e o seu desenvolvimento ao longo do funcionamento dos componentes, permitindo obter informação importante para outros projectos, para além que facilita o diagnóstico das avarias, melhorando a manutenibilidade e a manutenção. De salientar, que a fiabilidade dos sistemas de controlo de condição tem aumentado muito nos últimos anos, enquanto o seu custo tem vindo a diminuir. Também é cada vez mais fácil encontrar técnicos com capacidade de utilizarem os equipamentos e de interpretar os resultados obtidos.

Para se ter uma ideia da implementação destes sistemas de controlo, pode-se afirmar que a maioria dos rolamentos existentes nas indústrias de processo são hoje sujeitos a uma ou outra forma de controlo de condição, sendo a mais utilizada a análise vibratória.

Todas estas preocupações levam a que as estratégias de manutenção valorizem a informação recebida dos equipamentos em operação, para poderem melhorar os novos projectos. Entre elas pode-se salientar a terotecnologia, desenvolvida por Kelly [9] e que se pode apresentar de forma sumária na Figura 2.

Como se pode ver na Figura, esta metodologia, desenvolvida inicialmente nos anos sessenta, introduziu pela primeira vez o conceito de 'Feed back' da informação, conceito que teve a sua origem nas teorias da qualidade.

Por sua vez, a introdução de análise de criticidade através do FMECA e a realização de testes de adequação baseados em teorias da fiabilidade trouxeram um complemento importante a esta metodologia, com uma grande divulgação nos países anglo-saxónicos.

O principal inconveniente é o de não formular um indicador preciso para a avaliação da actividade da manutenção, embora por vezes seja adoptado o conceito de LCC.

Daqui se pode ver a relevância da recolha de informação ao longo da vida dos equipamentos, que, depois de devidamente tratada, é de grande utilidade para os projectistas. Por sua vez, estes têm de estar atentos e devem saber interpretar os dados vindos do campo.

Torna-se, por isso, essencial produzir informação com qualidade, que permita o seu tratamento posterior. Esta informação é, também, da maior importância para controlar e diminuir o risco das instalações, já que avarias fortuitas podem ter consequências graves. Sendo o risco definido pelo produto da probabilidade da ocorrência das falhas pelas suas consequências prováveis, o controlo das avarias e a sua detecção atempada são essenciais para a sua diminuição.

7. O problema do desenvolvimento científico da tribologia

Nas últimas décadas, a investigação levada a cabo no âmbito da tribologia tem sido realizada pela comunidade académica, com o maior rigor científico. Tem-se procurado identificar todos os parâmetros que intervêm no atrito e no desgaste das superfícies, analisando com detalhe a influência de cada um desses parâmetros. A metodologia utilizada é a normal para estas situações, começando por uma análise bibliográfica sobre o tema em estudo, uma análise teórica do problema em análise, a construção ou utilização de equipamento experimental que permita simular de forma simplificada o contacto a estudar, tentando analisar a influência do parâmetro isoladamente no comportamento do contacto em geral, seguindo-se a fase de análise e síntese dos resultados obtidos. Este procedimento é sem dúvida correcto do ponto de vista estritamente académico, mas de menos utilidade para a prática industrial.

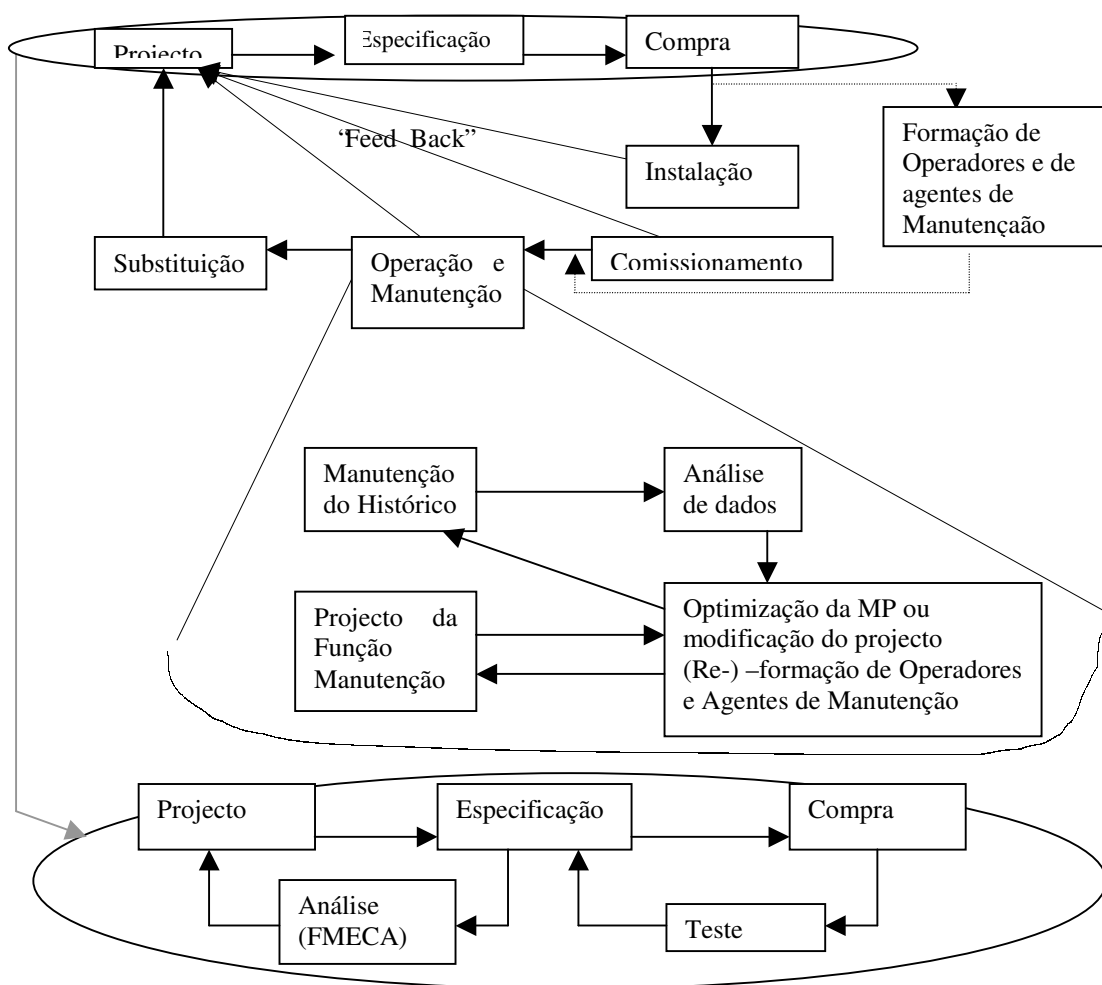


Figura 2 – Terotecnologia – conceito base e evolução actual

O projectista ou o engenheiro da manutenção estão preocupados com componentes, máquinas e equipamentos reais, em que as condições do estudo teórico efectuado não aparecem. Por outro lado, nos componentes tribológicos o número de parâmetros que intervêm no contacto real é muito elevado e o comportamento de uns interfere com os outros. Note-se que no cálculo de uma chumaceira lisa de deslizamento hidrodinâmica podem-se contar entre 50 a 100 parâmetros que têm de ser de algum modo combinados, para se obter a solução desejada [8].

Não se pode depreender daqui que o conhecimento científico é inútil, mas que se tem de observar a escala de análise para ser possível obter informação fiável sobre o comportamento dos componentes tribológicos e fazer intervir os diferentes parâmetros de estudo na análise dos resultados obtidos, relacionando-os com

as condições operacionais em que esse equipamento ou componente vai trabalhar. Logo, a informação necessária em tribologia tem de servir os interesses dos projectistas e utilizadores dos equipamentos e não se pode reduzir à avaliação dos coeficientes de atrito ou das taxas de desgaste em determinadas condições operacionais. Mais importante será a obtenção de informação que possa traduzir a durabilidade dos sistemas tribológicos e a probabilidade de falha desses mecanismos. Pretende-se assim criar uma ligação, até agora praticamente inexistente, entre tribologia e fiabilidade e disponibilidade dos mecanismos tribológicos, que se possa vir a traduzir por indicadores de fiabilidade, tais como o MTBF ("Mean Time Between Failures"), o MTTR ("Mean Time to Repair") ou outros do mesmo tipo.

8. Conclusões

A tribologia assume hoje uma importância económica muito elevada, influenciando de forma decisiva a fiabilidade, a manutenibilidade, a disponibilidade e a segurança operacional dos equipamentos.

Tal importância é realçada pelas análises LCC, em que os custos de manutenção são evidenciados e para os quais os componentes tribológicos contribuem de forma muito significativa.

Para que os projectistas tenham a possibilidade de melhorar o comportamento dos sistemas tribológicos para todo o ciclo de vida dos equipamentos torna-se necessário interpretar os dados vindos da operação e gerar informação que seja passível de verificar a influência desses componentes na longevidade e disponibilidade dos equipamentos.

9. Referências

- [1] Site: <http://www.barringer1.com/lcc.htm>
- [2] Report (1996), Study on present status and future trends of maintenance works in Japan, Japan Soc. For the Promotion of Machine Industry, citado por Nakajima, S., nas Notas de Conferência sobre TPM, Lisboa, 1995
- [3] Komonen, K. (2002), A cost model of industrial maintenance for profitability analysis and benchmarking, Int. J. Production Economics, 79, pp. 15-31
- [4] Veira, A., (2004), El valor del mantenimiento en la gestión de la empresa, Ingeniería e Gestión de Mantenimiento, 34, pp. 56-61
- [5] Tavares, S., (2005), Analysis of surface roughness and models of mechanical contacts, ERASMUS Report, U. Pisa, 134 páginas
- [6] Dowson, D., (1977), Progress in tribology: a historical perspective, Proc 1st World Tribology Conference, Londres, pp. 3-19
- [7] Holmberg, K., (2001), Tribology in reliability engineering, Proc. 2nd World Tribology Conference, Viena, 6 páginas
- [8] Neale, M., (2003), Tribology in design, in Tribological Research and Design for Engineering Systems, D. Dowson et al. (editors), Elsevier, Amesterdão, pp.3-11
- [9] Kelly, A., (1989), Maintenance and its Management, Conference Communication, Londres